

足圧中心変位の中心位置と体調との関係

Relationship between the mean direction of the center of pressure and physical and mental condition

中田 征克¹⁾・出村 慎一²⁾・山次 俊介³⁾
野口 雄慶²⁾・北林 保⁴⁾・長澤 吉則⁵⁾

Masakatsu NAKADA¹, Shinichi DEMURA², Shunsuke YAMAJI³,
Takanori NOGUCHI², Tamotsu KITABAYASHI⁴, Yoshinori NAGASAWA⁵

Abstract

This study examined the relationship between the mean direction of the displacement of the center of pressure (COP) and physical and mental conditions. Thirteen males and two females aged 18 to 35 years without neuropathy participated in this study. The measurement of COP for 1 min was carried out 100 times over several months for each subject. The measurement instrument was an Anima's stabilometer G5500. Data were recorded every 20 msec. Before each measurement, a questionnaire regarding physical and mental fatigue, heart rate, sleeping hours, and specific physical and mental conditions or states were taken from each subject. The X and Y directions of the displacement of the COP were plotted in two-dimension coordinates for about 100 trials with each subject. The probable ellipses were calculated from the plotted data, and the trials out of the probable ellipses were judged as extraordinary trials. The relationship between heart rate and sleeping hours, and the displacement of the COP was low. However, trials where the displacement of COP departed from normal tended to be associated with a high feeling of fatigue. The tendency for the displacement of the COP from normal after exercise suggests that fatigue may influence posture control.

Key word : center of pressure, probable ellipse, physical and mental condition, posture control

I. 緒言

ヒトの重心位置は、静的立位姿勢であっても常に動揺しており、一定していない。姿勢制御は、様々な外乱刺激に対する視覚系、前庭・半規管系、体性感覚系などの求心性情報を統合しており、この動揺に密接に関与している。したがって、静的立位姿勢における足圧中心変位は平衡機能検査として利用されている^{13,16,17,18,20}。平衡機能検査では、足圧中心位置(COP)の変位を連続的に記録し、重心動揺を反映する変数として利用している。各

種平衡機能障害(一側迷路障害, 両側迷路障害, 小脳障害など)を有する者は、それぞれの障害特有の特徴(動揺型)を呈することが報告されている¹⁷⁾。一方、COP変位を手がかりに健常者の平衡能力を捉えようとした研究も数多くみられる^{2,4-7,9,11,21)}が、静的立位姿勢を保持している場合、その動揺の大小が平衡能力の優劣を反映しているとは考えにくい³⁾。平衡能力は外乱刺激に対して姿勢を保持する能力と定義される⁴⁾が、健常者の平衡能力を測定する場合、姿勢保持が困難になるような床振動や閉眼などの外乱刺激を与えて、保持可能な時間、姿勢の立て直し時間から測定する必要がある。

1) 金沢美術工芸大学 Kanazawa College of Art

2) 金沢大学教育学部 Kanazawa University Faculty of Education

3) 福井工業高等専門学校 Fukui National College of Technology

4) 金沢大学大学院自然科学研究科 Kanazawa University Graduate School of Natural Science and Technology

5) 秋田県立大学 Akita Prefectural University

上述したように、動揺パターンのみで各受容器や中枢神経系の状態を推測することには限界があるが、北林ら¹⁰⁾は各個人の長育や周育の大きさが足圧中心動揺量に影響することを報告している。よって、立位姿勢保持に伴う身体のゆらぎは各個人特有の体格、姿勢保持に關与する筋、姿勢制御システムの影響を受け、その動揺パターンには各個人の特性が存在すると推測される。一方で、精神的、身体的疲労状態がCOP変位に影響を及ぼす影響についての検討もみられ^{1,14,15)}、各個人のCOP変位が疲労状態や体調などによって変化することを示唆している。以上より、静的立位姿勢では、各個人特有の動揺パターンによって姿勢を保持しているが、疲労や体調変化によって一時的に各個人にとって特異的な動揺パターンを示す可能性が仮定される。

本研究は、COP変位の中心位置と体調変化との関係を検討することを目的とする。

II. 方法

1. 被験者

本研究における被験者は、18～35歳までの神経機能障害をもたない健康な成人15名(男性12名、女性3名)であった。被験者の体格特性は身長、体重が男女それぞれ $174.3 \pm 4.9\text{cm}$ 、 $74.9 \pm 8.4\text{kg}$ 、 $159.6 \pm 5.2\text{cm}$ 、 $57.2 \pm 4.2\text{kg}$ であった。被験者の体格特性は、同年代の全国標準値とほぼ同程度であった¹⁹⁾。なお、被験者には測定に先立ち実験の主旨、目的および方法について詳細に説明し、同意を得た。

2. 実験装置

COP変位は重心動揺計(G5500, アニマ)を用いて測定した。この測定器では、水平面上の二等辺三角形の頂点に置かれた3個の垂直荷重センサー値から、垂直荷重の作用中心点(COP)を求め、これを水平面に投射された重心位置と仮定する。データは二次元座標に変換してサンプリング周波数20Hzでパソコンに取り込んだ。

3. 実験方法

被験者は、各測定前に心拍数(拍/min)、身体的疲労度、精神的疲労度、起床時間、就寝時間、および具体的な心身の症状や状態を記入した。身体的、および精神的疲労度は5段階(1.非常に良い、2.良い、3.普通、4.疲れている、5.非常に疲れている)で、被験者の主観的判断に基づき評価した。また、就床時間および起床

時間より睡眠時間を算出した。

被験者は30分間安静にした後、COP変位測定を行った。測定方法は重心動揺検査基準¹²⁾に従った。被験者は開眼、閉足の直立姿勢(Romberg姿勢)を保持し、検査台の先に各被験者の身長に合わせた注視点を注視し、1分間のCOP変位を測定した。被験者の姿勢、手の位置と視線の位置、および被験者の姿勢の安定を確認した後、測定を開始した。測定は、最低1時間以上の測定間隔をとり、数カ月にはわたり一人100試行実施した。

4. 評価変数

重心動揺計によって測定された時系列データをもとにX軸およびY軸方向の中心位置を算出し、COP変位の評価変数とした。本研究では、各試行間の足位置のずれを考慮し、以下の補正を行った。

1) 補正X軸方向重心動揺中心位置(以下,X中心位置)

$$X\text{中心位置} = X_n/n - X_0 \text{ (0秒時データ)}$$

2) 補正Y軸方向重心動揺中心位置(以下,Y中心位置)

$$Y\text{中心位置} = Y_n/n - Y_0$$

5. 解析方法

各被験者の100試行のX中心位置、およびY中心位置を変数として、二次元座標上にプロットし、棄却楕円⁷⁾を作成し、各プロット点を棄却域の内外で分類した。体調が異常である基準を、身体的疲労度および精神的疲労度が4(疲れている)以上、心拍数および睡眠時間が平均値 $\pm 2\text{SD}$ の範囲外の時であるとし、異常時と正常時に分類した。棄却楕円内外のデータの割合を算出した。また、棄却楕円外のデータと具体的な症状や状態の内容について検討した。なお、本研究における統計的有意水準は5%とした。

III. 結果

表1はX中心位置、およびY中心位置の基礎統計値を示している。各被験者において、100試行のX中心位置、Y中心位置を二次元座標上にそれぞれプロットし、X、Y中心位置の平均値を中心点とする棄却楕円を設定した(図1)。棄却楕円によって100試行のX、Y中心位置の中で、異常なデータを判別した。

表2は体調状態の調査結果を示している。被験者ID10は、精神的疲労度の回答が100試行中全て3「普通」であったが、その他は100試行中に4「疲れている」以上の値が含まれていた。体調の具体的な症状は、身体的、

表1 足圧中心位置の基礎統計値

N=100				
ID	X 軸 位 置		Y 軸 位 置	
	Mean	SD	Mean	SD
1	0.02	0.37	-1.4	0.89
2	-0.02	0.51	-0.54	0.54
3	0.20	0.55	0.16	0.58
4	-0.27	0.35	0.30	0.62
5	-0.12	0.54	-0.93	0.75
6	0.10	0.41	-0.83	0.72
7	0.08	0.45	-0.23	0.52
8	-0.07	0.38	-0.41	0.56
9	-0.13	0.59	0.12	0.72
10	0.06	0.37	-0.23	0.63
11	-0.04	0.36	-0.42	0.75
12	0.05	0.44	0.36	0.67
13	-0.02	0.59	-0.36	0.62
14	-0.12	0.42	-0.61	0.60
15	-0.14	0.41	0.11	0.54

注)単位(cm), Mean : 平均値, SD : 標準偏差

表2 各被験者の体調データの基礎統計値

ID	身体疲労度		精神的疲労度		心拍数 (拍/分)		睡眠時間 (時間)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1	3.1	0.36	3.0	0.37	62.4	5.74	6.7	1.45
2	3.7	0.39	3.5	0.36	69.6	7.09	6.4	1.14
3	3.2	0.42	3.1	0.35	65.6	5.12	6.0	1.03
4	3.3	0.63	3.2	0.58	67.3	6.08	4.7	1.25
5	3.5	0.70	3.3	0.55	64.4	5.26	5.0	1.18
6	3.3	0.48	3.1	0.38	82.6	7.39	6.3	1.60
7	3.2	0.50	3.3	0.52	72.2	7.70	6.4	1.55
8	3.7	0.55	3.6	0.47	70.7	7.30	4.1	1.14
9	2.9	0.55	3.1	0.69	70.9	11.94	4.6	1.67
10	3.1	0.22	3.0	0.00	68.0	7.59	4.4	1.36
11	3.4	0.93	3.0	0.78	57.0	8.58	6.3	1.85
12	3.4	0.55	3.3	0.49	69.7	6.79	5.1	1.40
13	3.4	0.70	3.2	0.67	66.1	5.85	5.7	1.75
14	3.5	0.49	3.1	0.59	73.3	9.05	6.8	1.20
15	3.2	0.42	3.2	0.46	58.4	5.52	4.5	1.81

注) Mean : 平均値, SD : 標準偏差
 身体的疲労度、精神的疲労度はともに1 (非常によい) ~5 (非常に疲れている) 段階

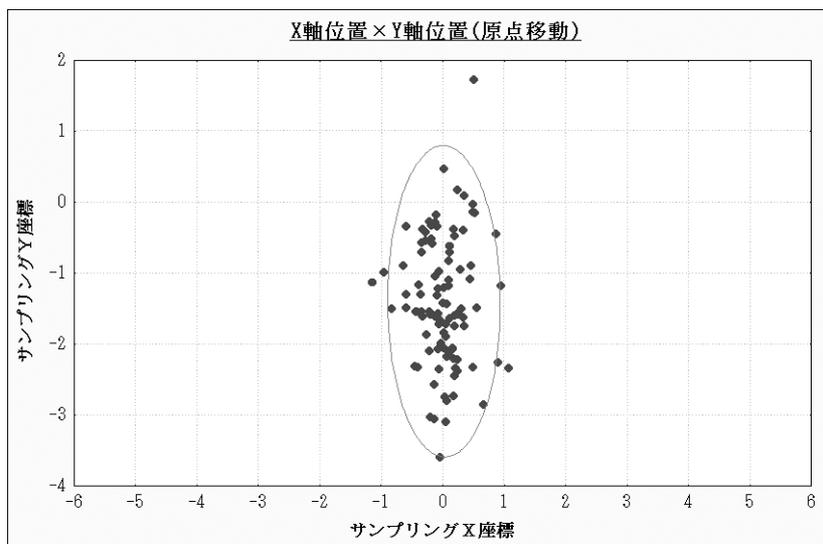


図1 ある被験者の100試行データを利用した棄却楕円によるデータ分類例
 注) 図中の楕円から外れたデータが異常データと判別される。

精神的, 病的, およびその他の異常に分類できた。表3はそれらの一覧表を示している。

1) 棄却域の内外のデータ比較

各被験者の100試行のうち, 中心位置が棄却楕円外であった数の平均値は 4.7 ± 1.3 個(3~7個; 表4)であり, 全試行中の約5%が棄却楕円外であった。表4は身体的疲労度, 精神的疲労度, 心拍数, および睡眠時間の問診において, 異常と判定された試行と, そのうち棄却楕円外であった試行の割合を示している。いずれの被験

者においても各体調異常時の試行と棄却楕円外の試行との対応関係はほとんど認められず, 平均値は, 身体的疲労度, 精神的疲労度, 心拍数, および睡眠時間でそれぞれ $6.1 \pm 4.5\%$, $6.9 \pm 8.2\%$, $8.7 \pm 11.1\%$, $6.9 \pm 11.7\%$ と低かった。また, 各体調異常時と棄却楕円外の試行に全く対応関係が認められなかった被験者の割合は, 身体的疲労度, 精神的疲労度, 心拍数, および睡眠時間でそれぞれ約13.3%, 26.7%, 60.0%, 73.3%であった。

表3 具体的な症状の内容例

身体的な異常		精神的な異常	病的な異常	その他	
筋肉痛(胸部)	喉痛	倦怠感	食あたり	眠気	便秘
筋肉痛(大腿：軽)	右膝打撲	憂鬱	流行目	寝不足	高速バスで睡眠
腰痛	打撲(右ふくらはぎ)	意識散漫	風邪	徹夜	疲労感(全身)
疲労(脚)	むち打ち(首)	etc.	微熱	仮眠(入)	長時間会話後
背筋痛(軽)	寝ちがい(首)		発熱	空腹	etc.
右足痛(軽)	捻挫(足首)		頭痛	満腹	
腕痛	運動後		鼻づまり	食後	
耳痛(右耳)	部活後		胸焼け	二日酔い	
足痛	肩こり		腹痛	裸眼	
歯痛	etc.		etc.	眼鏡着用	

注)内容がほぼ同じと判断したものは統合した。例：熱、体温38度 →発熱とする。

表4 各体調異常と棄却楕円外データの対応関係

ID	棄却外総数	身体的疲労度	精神的疲労度	心拍数	睡眠時間
1	7	2/13	1/3	1/6	0/3
		15.4	33.3	16.7	0.0
2	3	1/59	1/21	1/5	0/3
		1.9	4.8	20.0	0.0
3	6	2/18	1/9	1/3	0/4
		11.1	11.1	33.3	0.0
4	4	2/28	1/22	0/4	0/4
		7.1	4.5	0.0	0.0
5	4	1/48	2/33	0/1	0/6
		2.1	6.1	0.0	0.0
6	5	0/21	0/9	0/2	0/4
		0.0	0.0	0.0	0.0
7	5	1/19	0/25	0/2	0/4
		5.3	0.0	0.0	0.0
8	4	1/54	4/49	1/5	2/6
		1.9	8.2	20.0	33.3
9	5	1/9	1/27	0/3	0/5
		11.1	3.7	0.0	0.0
10	3	0/5	0/0	0/2	1/5
		0.0	0.0	0.0	20.0
11	4	3/46	2/20	0/4	0/7
		6.5	10.0	0.0	0.0
12	3	1/34	0/28	0/4	0/7
		2.9	0.0	0.0	0.0
13	7	4/35	1/33	1/5	1/4
		11.4	3.0	20.0	25.0
14	6	3/36	2/14	1/5	1/4
		8.3	14.3	20.0	25.0
15	4	1/17	1/23	0/6	0/6
		5.9	4.3	0.0	0.0
Mean		6.1	6.9	8.7	6.9
SD		4.53	8.23	11.14	11.69
0%		13.3	26.7	60.0	73.3

注) 棄却外総数：100試行中、棄却楕円外の試行総数
 上段：(棄却楕円外のデータ数) / (体調異常を示したデータ総数)
 下段：体調異常を示した試行のデータのうち、棄却楕円外となったデータの割合(%), 0%：表中割合が0%であった割合

2) 具体的な症状や心身の状態との比較

表5は各被験者の具体的な症状や心身の状態と棄却楕円外であった試行との対応関係を示している。15名の被験者のうち、6名(ID4~7, 9, 12)は具体的な症状や状態と棄却楕円外であった試行とに対応関係は認められなかった。棄却楕円外であった試行とに対応関係が比較的多く認められた症状や状態は、「運動後」や「部活後」といった身体活動後であった。また、「眠気」や「食後」も比較的多かった。しかし、下肢の「捻挫」や「打撲」

表5 各被験者の具体的な症状や状態と棄却楕円外データとの対応関係

ID	記入総数	棄却域外	該当数	内容一覧
1	10	7	1	①部活後で眠い
2	43	3	2	①高速バスで睡眠後で眠い ②長時間会話後
3	19	6	3	①腕痛、②食後、③運動後
4	12	4	0	
5	18	4	0	
6	30	5	0	
7	7	5	0	
8	41	4	3	①風邪気味、②食あたりによる発熱 ③AM:5:00~7:00仮眠
9	26	5	0	
10	21	3	1	①満腹
11	30	4	3	①風邪気味、②運動後、③運動後
12	12	3	0	
13	42	7	3	①運動後、②部活後、③部活後
14	42	6	6	①眠気、②運動後、③運動後、 ④運動後、⑤運動後、⑥腰痛
15	37	4	3	①花粉症、②眠気と悪心、③食後

注) 記入総数：100試行のうち具体的な症状が記入されていた数
 棄却外：100試行のうち棄却楕円外のデータであった数
 該当数：棄却外のデータのうち、具体的な症状が記入してある数

といった身体的な症状とは対応関係は認められなかった。

IV. 考察

平衡機能障害者に対するスクリーニング検査として、静的立位姿勢における足圧中心(COP)変位を記録する平衡機能検査が利用されている^{13,16,17,18,20)}。一方で、COP変位を手がかりに健常者の平衡能力を評価することを試みた研究もみられる^{2,4-7,9,11,21)}。しかし、健常者における静的立位姿勢時のCOP変位は必ずしも平衡能力の優劣を反映しているとはいえず、各個人特有の体格、姿勢保持に關する筋などの影響を受け、各個人の動揺パターンが存在すると考えられる。この各個人の動揺パターンが、

一定範囲から逸脱する場合，その試行は立位姿勢保持に影響を及ぼす何らかの異常な状態であるかもしれない。異常な状態とは，疲労状態，けが，病気，生活習慣の乱れなど様々な要因が考えられる。本研究では，各個人のCOP変位が一定の個人特性を有すると仮定し，数ヶ月にわたって測定した100試行のCOP変位のうち一定範囲を逸脱したと考えられる試行（棄却楕円外の試行）と体調や状態との対応関係を検討することを目的とした。

体調を示す変数として，身体的疲労度，精神的疲労度，心拍数，および睡眠時間を用いて，棄却楕円外の試行との対応関係を検討した。その結果，心拍数および睡眠時間は60～70%の被験者が棄却楕円外の試行と対応関係が全く認められなかった。一方，身体的および精神的疲労度は，70～80%の被験者が棄却楕円外の試行と対応関係を示したが，高い疲労度を訴えていても棄却楕円外の試行となるとは限らない（身体的疲労度 $6.1 \pm 4.5\%$ ，精神的疲労度 $6.9 \pm 8.2\%$ ）が，棄却楕円外の試行である場合，疲労度が高いことが多かった（身体的疲労度 $31.7 \pm 19.4\%$ ，精神的疲労度 $25.5 \pm 25.6\%$ ）。先行研究においてもCOP変位に及ぼす身体的，精神的疲労度の影響について報告がなされている。相澤ら¹⁾は精神的緊張が重心動揺に及ぼす要因であると考え，健常者の精神的作業のCOP変位への影響を検討した。その結果，精神的緊張状態では，COP変位移動距離が作業直後に有意に減少したと報告している。佐藤ら¹⁵⁾は，入局1年目の麻酔科医7名に対して麻酔業務前後において，疲労の検討のためにCOP変位を測定し，Y軸方向移動距離，軌跡・楕円面積は前値に比較して後値で有意に増加したと報告している。さらに，萩之内ら¹⁴⁾は下肢筋力の緊張が，X，Y軸移動距離，および重心動揺面積を増加し，立位姿勢を不安定にしていると報告している。これらの研究を踏まえて，身体的，精神的疲労度の増加により，COP変位の中心位置が各個人特有の範囲（棄却楕円内）から逸脱する可能性が示唆された。疲労度の増加により，姿勢保持に参与する中枢神経系の機能低下，または下肢や体幹の筋疲労もしくは過緊張などによりCOP変位の変化に現れると推測されるが，疲労の程度や種類により違いが見られるため一致した見解が得られていない。したがって，疲労がCOP変位に及ぼす影響については，今後さらに検討する必要がある。

体調および疲労の具体的な症状や状態と棄却楕円外の試行との対応関係を検討した結果，棄却楕円外の試行において「運動後」，「部活後」といった身体活動後の状態が多く，また，「眠気」や「食後」も次いで多かった。運動後，部活後は身体活動の実施によって，COP中心位置

が棄却楕円外に移動する要因として，筋疲労が考えられる。これらは上述した身体的，精神的疲労度との対応関係とも一致した傾向であるといえる。一方で，下肢の「捻挫」や「打撲」といった身体的な症状とは対応関係は認められなかった。COP中心位置の変化には，下肢の異常や，ケガによる影響よりも，身体活動などの疲労の影響が大きいことが推察される。

V. まとめ

本研究で健常な成人15名（男性12名，女性3名）を対象に，数カ月にわたり100試行，1分間の測定を行い，体調項目と中心位置の関係を検討した。以下のことが明らかにされた。

- 1) 棄却楕円外の試行の場合，疲労度が高い傾向にある。
- 2) 心拍数，睡眠時間とCOP中心位置の変位には認められない。
- 3) 身体活動後に中心位置が大きく変動することが多く，姿勢制御機構に影響を与えている可能性がある。

引用参考文献

- 1) 相澤直行・青木和夫・吉田義之 (1994) 精神作業の重心動揺への影響．人間工学30(4)：223-231
- 2) Baker CP, Newstead AH, Mossberg KA, et al. (1998) Reliability of static standing balance in nondisabled children: comparison of two methods of measurement. *Pediatric Rehabilitation* 2：15-20
- 3) 出村慎一・山次俊介・野田政弘・北林保・長澤吉則 (2001) 静止立位姿勢における足圧中心動揺の評価変数の検討-試行間信頼性と変数相互の関係の観点から-．*Equilibrium Res*60(1)：44-55
- 4) 藤原勝夫，池上晴夫 (1981)足圧中心位置と立位姿勢の安定性の関係について．*体育学研究* 26：137-147
- 5) Geurts ACH, Nienhuis B, Mulder TW (1993) Intrasubject variability of selected force-platform parameters in the quantification of postural control. *Arch Phys Med Rehabil* 74：1144-1150
- 6) Goldie PA, Bach TM, Evans OM (1989) Force platform measures for evaluating postural control：reliability and validity. *Arch phys Med Rehabil* 70：510-517

- 7) 五島桂子 (1986) 重心動揺検査の検討 コンピュータ分析における検査項目と正常域 . Equilibrium Res 45 : 368-387
- 8) 橋詰謙, 伊東元, 丸山仁司, 他 (1986) 立位保持能力の加齢変化 . 日本老年医学会雑誌 23 : 85-91
- 9) Kapteyn TS, Bles W, Njikiktijen CJ, et al. (1983) Standardization in platform stabilometry being a part of posturography. Agressologie 24 : 321-326
- 10) 北林保, 出村慎一, 山次俊介, 中田征克, 野田政弘, 今岡薫 (2002) 静的立位姿勢における足圧中心動揺変数の性差と体格の関係. Equilibrium Res61(1) 印刷中
- 11) 中川肇 (1992) 高齢者の姿勢制御に関する研究. 日耳鼻 95 : 1042-1052
- 12) 日本平衡神経科学会 (1983) 重心動揺検査の基準 . Equilibrium Res 42 : 367-369
- 13) 日本平衡神経科学会 (1994) 平衡機能検査の実際 . 南山堂 : 126-133
- 14) 萩之内淳・梅村守 (1999) 下肢の変化が立位時重心動揺に及ぼす影響 . 理学療法科学 14(1) : 29-32
- 15) 佐藤紀・川端博志・渡辺廣昭・紅露信司・表圭一・並木明義・岸玲子 (1995) 麻酔科医の疲労度とストレスに関する研究調査-第3報 : 重心動揺計を用いた麻酔科医の疲労度調査- . 麻酔44(5) : 674-678
- 16) 田口喜一郎 (1983) 身体動揺測定の進歩と臨床的意義 . 耳鼻臨床 76(2) : 133-147
- 17) 時田喬 (1995) 重心動揺検査-その実際と解釈- . アニマ株式会社
- 18) 時田喬 (1979) 重心動揺検査 . 日本臨床37(増刊) : 536-539
- 19) 東京都立大学体力標準値研究会 (2000) 新・日本人の体力標準値2000 不昧堂 : 20-156
- 20) 山本昌彦 (2001) 平衡訓練の対象疾患 両側前庭機能障害 . JHONES17(6) : 877-881
- 21) Woolley SM, Rubin A, Kanter RM, et al. (1993) Differentiation of balance deficits through examination of selected components of static stabilometry. The Journal of Otolaryngology 22 : 368-375